



Bloque IV: El nivel de red

Tema 13: IPv6



Índice

- Bloque IV: El nivel de red
 - Tema 13: IPv6
 - Limitaciones de IPv4
 - Características de IPv6
 - Cabecera IPv6
 - Direccionamiento Ipv6
 - ICMPv6
 - Transición IPv4 a IPv6
- **Lecturas recomendadas:**
 - Capítulo 4, sección 4.4.4, de “Redes de Computadores: Un enfoque descendente”. James F. Kurose, Keith W. Ross. Addison Wesley.
 - “IPv6 Essentials”, Silvia Hagen, O’Reilly.



Limitaciones de IPv4

- “Pocas” direcciones (32 bits – 4000 millones):
 - Estructura de dos niveles (id. de red y de host):
 - Usar un id. de red → reservar todos sus id. de host.
 - Gran proliferación de redes (crecimiento exponencial de Internet).
 - Uso de TCP/IP en nuevas tecnologías (móviles, PDAs, TV, ...)
 - Permitir múltiples IP por ordenador.
- Saturación del espacio de direcciones:
 - Limita el crecimiento de Internet.
 - Enrutamiento ineficiente (tablas de enrutamiento muy grandes en la red troncal) → Tiempos de respuesta grandes.
 - Uso de NAT (Network Address Translation).
- Soporte inadecuado para aplicaciones con restricciones de calidad de servicio:
 - No garantiza anchos de banda, tiempos de respuesta, seguridad.
- Se requieren mecanismos de seguridad en la capa de red:
 - No fue diseñado para ser seguro.
 - Se han definido algunas herramientas de seguridad (SSL, SHTTP, IPsec).



Características de IPv6

- IPv6 representa una de las mayores actualizaciones de tecnologías de red de la historia.
 - Está diseñado como la evolución de IPv4.
 - Es un incremento natural de IPv4 y es interoperable con IPv4.
 - Está diseñado para operar sobre redes de alta velocidad (ATM, Gigabit Ethernet, ...) y redes de bajo ancho de banda (p.e. WIFI).
 - Proporciona nuevas funcionalidades para Internet (p.e. extensión del espacio de direcciones, seguridad, QoS).
- <http://www.ipv6.es/>



Características de IPv6

- Espacio de direcciones ampliado y mecanismos de autoconfiguración:
 - **Direcciones de 128 bits** → Incremento en 2^{96} y nos tocan 6 x 1023 dir. IP/m2.
 - Permite una arquitectura jerárquica de direcciones → Agregación de direcciones en el backbone.
 - **Autoconfiguración** (plug&play) de los equipos.
 - Mejoras de los mecanismos multicast, introduciendo el concepto de ámbito (scope).
 - Introducción de las direcciones **Anycast** y desaparecen las direcciones de broadcast.
- Simplificación del formato de la cabecera:
 - Tamaño fijo de 40 bytes: dos direcciones IP de 16 bytes + 8 bytes.
 - Se eliminan (o son opcionales) algunos campos de la cabecera IPv4.
 - Procesamiento más rápido y barato en los routers (p.e. se elimina la fragmentación IP de los routers).



Características de IPv6

- Soporte mejorado de extensiones y opciones:
 - Las opciones se gestionan como *Cabeceras de Extensión*.
 - Se insertan entre la cabecera IPv6 y la carga.
 - Se pueden integrar fácilmente nuevas extensiones en el futuro.
- Seguridad intrínseca en el núcleo del protocolo:
 - Soporta autenticación y dispone de extensiones para la integridad y confidencialidad de los datos.
- Capacidad para etiquetado de flujos:
 - Paquetes del mismo flujo de datos pueden ser etiquetados en origen → Calidad de Servicio (QoS).
 - Por ejemplo, soporte de tráfico multimedia en tiempo real.



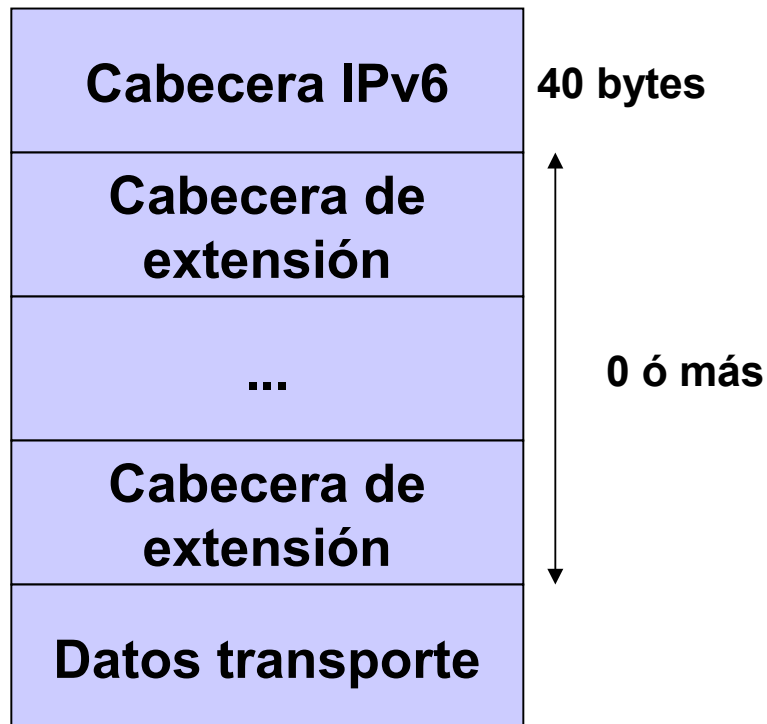
¿Merece la pena?

- Ya tenemos NAT y mecanismos de seguridad (IPsec) en IPv4, ¿no es suficiente?
- Pronto conectaremos casi todo a Internet: PDAs, teléfonos móviles, TVs, frigoríficos, coches, ...
- IPv6, con el espacio de direcciones extendido, la autoconfiguración y sus características de movilidad podrá gestionar todos estos dispositivos.
- Cada vez requerimos más aplicaciones multimedia e interactivas a través de Internet, en donde IPv4 plantea muchos problemas.
- Además, IPv6 no es sólo más direcciones: mayor escalabilidad, mejor integridad de los datos, soporta QoS, autoconfiguración, agregación de direcciones para el enrutamiento, ...



Cabecera IPv6

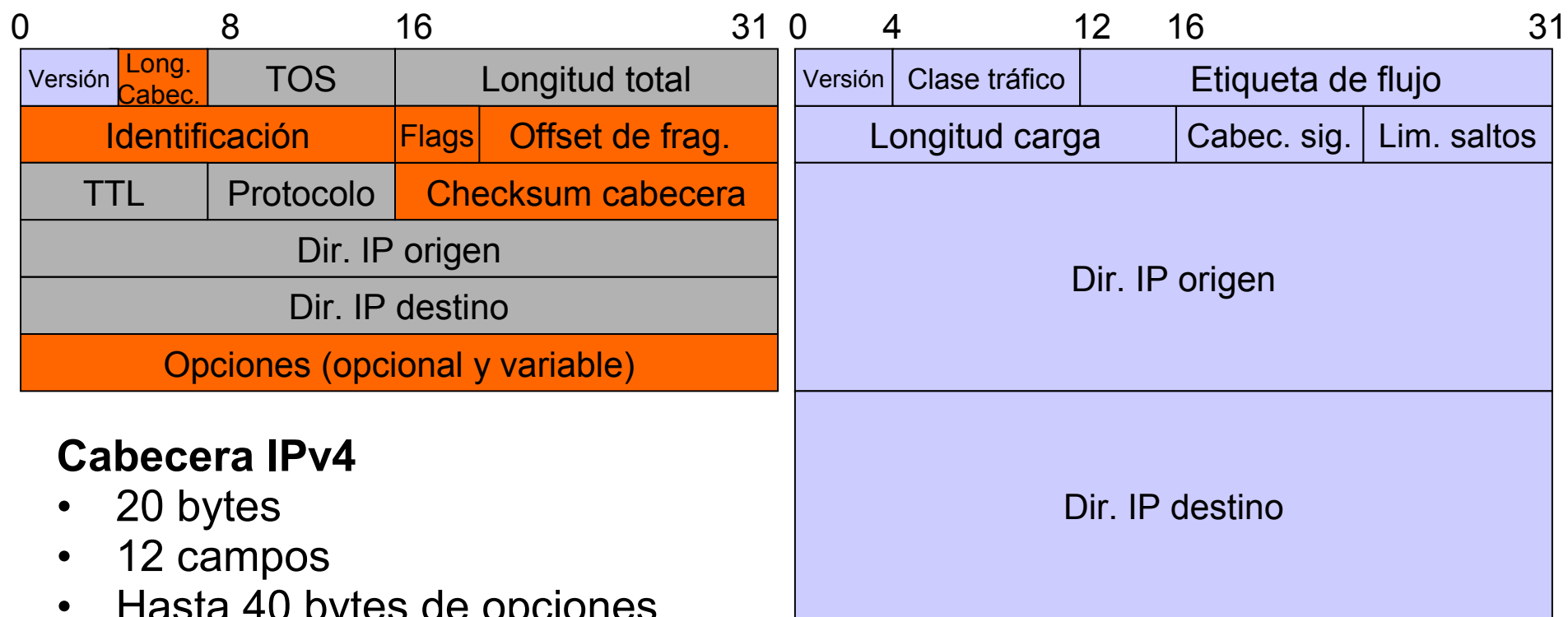
Datagrama IPv6



- Sólo se requiere una cabecera:
 - Cabecera de IPv6 (40 bytes).
- Y se definen varias cabeceras de extensión (opcionales):
 - Cabecera de opciones salto-a-salto
 - Cabecera de encaminamiento
 - Cabecera de fragmentación
 - Cabecera de las opciones para el destino
 - Cabecera de autenticación
 - Cabecera ESP



Cabecera IPv6



Cabecera IPv4

- 20 bytes
- 12 campos
- Hasta 40 bytes de opciones

Modificado

Borrado

Cabecera IPv6 (RFC 2460)

- 40 bytes y 8 campos
- Cabeceras de extensión ilimitadas (opciones)



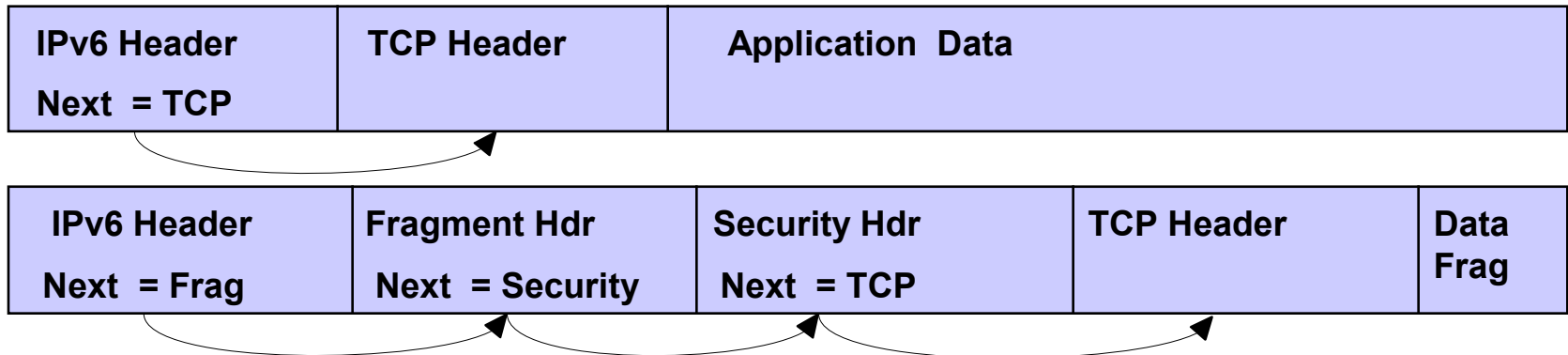
Cabecera IPv6

- **Versión** (4 bits): versión del protocolo (6).
- **Clase de tráfico** (1 byte): identifica diferentes clases o prioridades de paquetes (sustituye al campo TOS de IPv4) → DS (6 bits) + ECN (2 bits).
- **Etiqueta de flujo** (20 bits): permite diferenciar aquellos paquetes que requieren un tratamiento similar.
 - Especialmente útil para tráfico multimedia y en tiempo real.
 - El host origen asocia la misma etiqueta a un flujo de paquetes con las mismas características (p.e. voz sobre IP, streaming de vídeo, ...)
 - El router gestiona los distintos flujos y procesa los paquetes de cada flujo más eficientemente → No necesita procesar la cabecera completa.
 - Un flujo se identifica por: etiqueta + dirección origen
 - Aquellos routers que no puedan interpretar las etiquetas deben ignorarlo y pasar el campo inalterado.
 - Etiqueta de flujo + clase de tráfico: mecanismo potente de control de flujo y de asignación de prioridades diferenciadas según los tipos de servicios.
- **Longitud de carga** (2 bytes): longitud del paquete después de la cabecera IP (cabeceras extensión + datos).
 - En IPv4, el campo Longitud incluía la longitud de la cabecera + datos
 - En IPv6, no se considera la cabecera IPv6 (tamaño fijo), y las cabeceras de extensión se consideran parte de la carga.
 - Máximo tamaño de carga: $2^{16} = 64\text{Kbytes}$
 - IPv6 permite la definición de Jumbogramas: paquetes de más de 64 KB, que sólo tienen sentido si el MTU del nivel de enlace es superior a 64 KB.



Cabecera IPv6

- **Cabecera siguiente** (1 byte): identifica el tipo de cabecera que sigue a la cabecera IPv6.
 - Las cabeceras deben ser procesadas en el orden riguroso en que aparecen.
 - Las sucesivas cabeceras no son examinadas en cada nodo de la ruta, sino sólo en el nodo o nodos destino finales (excepto cuando se trata de la cabecera de opciones salto a salto).



- **Límite de saltos** (1 byte): número restante de saltos permitidos.
 - Análogo al campo TTL.
- **Dirección origen** (16 bytes).
- **Dirección destino** (16 bytes): normalmente, dirección IP del destino del paquete.
 - Puede no ser el último destinatario del paquete, si está presente la cabecera de enrutamiento.



Cabecera IPv6

- Se eliminan 5 campos de la cabecera IPv4:
 - Longitud cabecera: necesario en IPv4 al incluirse las opciones en la cabecera (longitud entre 20 y 60 bytes).
 - Inútil en IPv6 (cabecera fija de 40 bytes + cabeceras de extensión).
 - Identificación, flags y offset de fragmentación: necesarios para la fragmentación en IPv4.
 - Si es necesaria, se realiza extremo a extremo (MTU Path Discovery), utilizando la cabecera de extensión para fragmentación.
 - **¡Los routers no fragmentan!**
 - Checksum cabecera: eliminado para mejorar el rendimiento → Así, los routers no tienen que calcular y actualizar el checksum.
 - Ya se realiza en el nivel de enlace (probablemente) y en el nivel de transporte.
 - IP no es fiable → Fiabilidad en los niveles superiores.



Cabeceras de extensión

- El modo de definir las opciones en IPv4 provoca un menor rendimiento en los routers.
 - El procesador debe analizar las opciones del paquete IP.
- IPv6 gestiona las opciones utilizando las cabeceras de extensión (RFC 2460):
 - Cabecera de opciones salto-a-salto
 - Cabecera de encaminamiento
 - Cabecera de fragmentación
 - Cabecera de opciones en destino
 - Cabecera de autenticación
 - Cabecera ESP (Encrypted Security Payload)
- Puede haber 0, 1 o más cabeceras de extensión, y serán procesadas en el orden en el que aparezcan.
- Cada cabecera de extensión se identifica mediante el campo Siguiente cabecera de la cabecera anterior.
- Las cabeceras de extensión sólo se procesan por el nodo identificado en el campo Dirección de destino.
- Excepción: si se trata de la cabecera de opciones salto-a-salto, esa cabecera será procesada por todos los nodos de la ruta.
 - La cabecera de opciones salto-a-salto se encuentra a continuación de la cabecera IPv6 (Siguiente cabecera = 0).
- Cada cabecera de extensión es múltiplo de 8 bytes.
- Si un nodo debe procesar la siguiente cabecera, pero no la reconoce → Descarta el paquete + Envía mensaje ICMPv6 Parameter Problem al origen



Direccionamiento IPv6

- Especificado en el RFC 2373 (que deja obsoleto el RFC 1884).
- Las direcciones IPv6 son identificadores de 128 bits para interfaces y conjuntos de interfaces. Hay 340 sextillones (10^{36}) de direcciones IP diferentes (frente a sólo 4000 millones de IPv4).
- Las direcciones IPv6 tienen un ámbito de validez (local de enlace, sitio o global) y un tiempo de vida.
- Hay tres tipos de direcciones:
 - **Unicast**: identifica unívocamente una interfaz de un nodo IPv6. Un paquete dirigido a una dirección unicast se envía a la interfaz asociada a esa dirección.
 - **Multicast**: identifica un grupo de interfaces IPv6. Un paquete dirigido a una dirección multicast es procesado por todos los miembros del grupo.
 - **Anycast**: se asigna a múltiples interfaces (típicamente en múltiples nodos). Un paquete dirigido a una dirección anycast es enviado a sólo una de esas interfaces (normalmente, la más próxima).
- No hay direcciones de broadcast → Su función es sustituida por direcciones multicast.
- Las direcciones IP se asignan a interfaces (como en IPv4):
 - Cada interfaz necesita, al menos, una dirección unicast.
 - Una interfaz puede tener asignadas múltiples direcciones de cualquier tipo (unicast, multicast o anycast).
 - Un nodo se identifica por cualquier dirección de cualquiera de sus interfaces.



Direccionamiento IPv6

- Una dirección IPv6 se divide en tres partes:
 - Prefijo de enrutamiento global: identifica una dirección especial (p.e. multicast) o un rango de direcciones asignado a un sitio.
 - Identificador de subred: identifica un enlace (subred) dentro de un sitio.
 - Cada enlace tendrá su identificador, y un enlace puede disponer de múltiples identificadores.
 - Identificador de interfaz: identifica una interfaz dentro del enlace. Debe ser único.

Prefijo de enrutamiento global <i>n bits</i>	Identificador subred <i>m bits</i>	Identificador interfaz <i>128 – n - m bits</i>
---	---------------------------------------	---

- Tipos de direcciones unicast IPv6:
 - Direcciones unicast globales agregables: gestionadas por un plan jerárquico (RFC 2374).
 - Direcciones unicast locales de enlace: sólo uso local (dentro de una red).
 - Direcciones unicast locales de sitio: sólo uso en las subredes de un sitio.



Direccionamiento IPv6: Notación

- Dirección IPv6: 128 bits = 16 bytes
- Se representa mediante 8 bloques de 16 bits en hexadecimal, separados por “:”
 - FEDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210
 - FE80:0000:0000:0000:0202:B3FF:FE1E:8329
- Se pueden eliminar los ceros por la izquierda en cada bloque
 - FE80:0:0:0:202:B3FF:FE1E:8329
- Se eliminan bloques consecutivos de ceros utilizando el carácter “::”
 - FE80::202:B3FF:FE1E:8329
 - Sólo puede aparecer una vez en la dirección
 - CAFF:CA01:0000:0056:0000:ABCD:EF12:1234
 - CAFF:CA01::56:0:ABCD:EF12:1234
 - CAFF:CA01:0:56::ABCD:EF12:1234
- En entornos mixtos de IPv4 e IPv6, se puede utilizar una forma alternativa y muy conveniente: x:x:x:x:x:x:d:d:d:d
 - “x” representa valores hexadecimales de 16 bits
 - “d” representa valores decimales de las (representación estándar IPv4)
 - Por ejemplo:
 - 0:0:0:0:0:0:13.1.68.3 ó ::13.1.68.3
 - 0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38 ó ::FFFF:129.144.52.38
- Direcciones especiales: dirección sin especificar - :: y dirección de loopback - ::1
 - *ping6 ::1*



Direccionamiento IPv6: DNS

- También son necesarios cambios (pocos) en el DNS para resolver las peticiones de direcciones IPv6 \Rightarrow RFC 1886.
- Petición DNS IPv6: AAAA
 - A partir de un nombre, obtendrá la dirección IPv6 asociada.
- Registro de respuesta IPv6: AAAA
 - Equivalente al registro para IPv4, pero con una dirección IPv6.
- Jerarquía de resolución inversa: ip6.int
 - Equivalente a in-addr.arpa.
 - Se compone de 16 ramas (0-F), con sucesivos subniveles.
- *dig @8.8.8.8 www.udc.es AAAA*



ICMPv6

- Como parte de los cambios de IPv6 se incluye una nueva versión del protocolo ICMP definida en el RFC 4443.
 - Reorganiza los tipos y códigos existentes.
 - Define nuevos tipos.
 - Incorpora funciones de IGMP (Internet Group Management Protocol).
 - Introduce el protocolo NDP (Neighbor Discovery Protocol)
 - Incorpora funciones ARP.
- Misma estructura de mensajes que ICMPv4.
- Mensaje de error Packet Too Big: se genera un router cuando no puede enviar un paquete ya que es mayor que el MTU de la interfaz de salida.
- Mensaje Parameter Problem: si un nodo no es capaz de identificar un campo de la cabecera IPv6 o de alguna cabecera de extensión ⇒ Descarta el paquete y envía un mensaje de error ICMP Parameter Problem al origen.
- Mensajes Echo Request y Echo Reply: para implementar el ping6 (tipo 128 y 129).



ICMPv6: NDP

- NDP combina ARP, Redirect y descubrimiento de routers (de ICMPv4) para:
 - Determinar las direcciones de enlace de los nodos en el mismo enlace.
 - Encontrar routers vecinos que puedan enviar paquetes.
 - Identificar los vecinos alcanzables y no alcanzables, y detectar cambios en sus direcciones de enlace.
- Autoconfiguración: no se requiere configuración manual (plug&play), incluso sin un servidor DHCP. Métodos para la obtención de direcciones:
 - Link Local Address (no necesita ni router ni servidor):
 - Crear una dirección IP (local de enlace) única: prefijo local de enlace (FE80) + Identificador IEEE 64 bits o adaptación del identificador IEEE 48 bits
 - Comprobar que es válida.
 - Mecanismo “Stateless” (el router informa de los prefijos de las direcciones): buscar routers en la red → Proporcionan prefijos (para crear direcciones) y routers por defecto.
 - Mecanismo “Stateful”: equivalente a DHCP.



Transición IPv4 a IPv6

- IPv6 e IPv4 van a coexistir durante muchos años.
- Se han definido múltiples técnicas, que se agrupan en tres categorías:
 - Pila dual: permiten a IPv4 e IPv6 coexistir en los mismos dispositivos y redes.
 - Tunneling: permiten transportar tráfico IPv6 sobre infraestructuras IPv4 existentes.
 - Traducción: permiten a los nodos IPv6 puros comunicarse con los nodos IPv4 puros.
- Estas técnicas pueden (y deben) utilizarse de manera combinada.
- Definidas en el RFC 2893 – “Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers”.



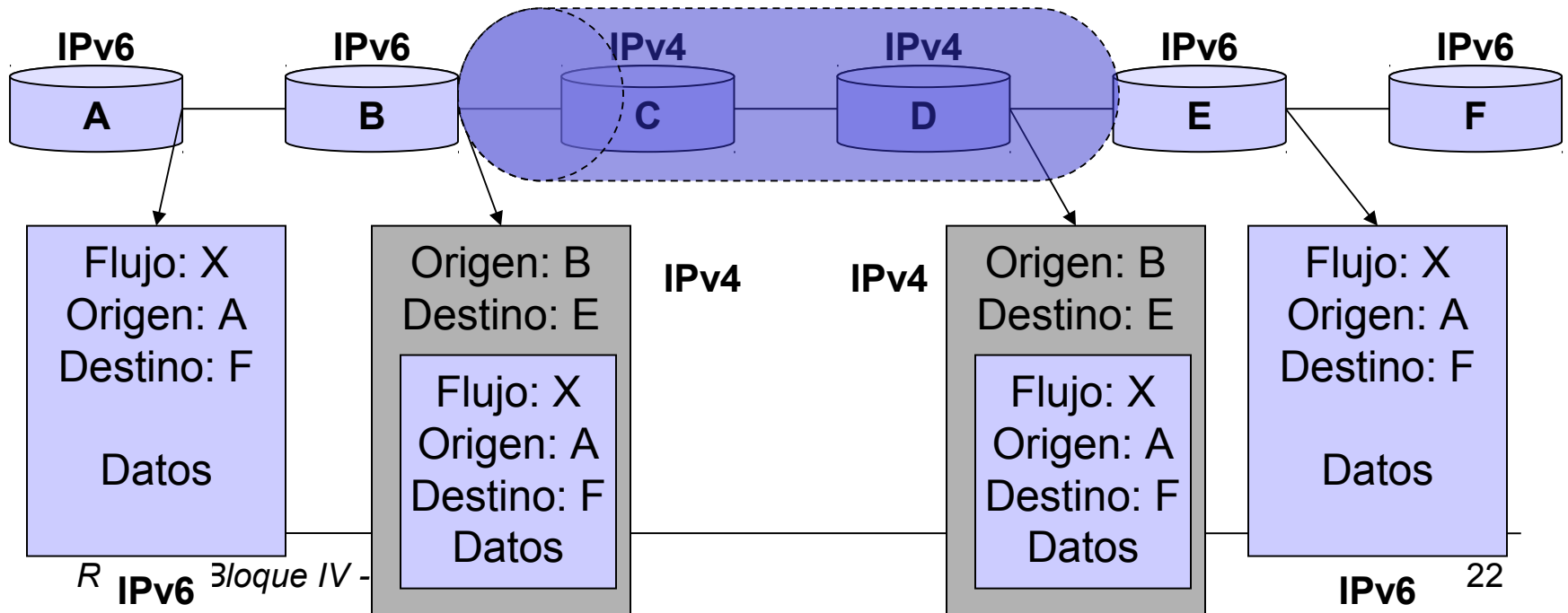
Pila dual

- Nodo IPv6/IPv4: nodo con soporte completo de las dos versiones de los protocolos.
 - Cuando se comunica con un nodo IPv6, utiliza IPv6.
 - Cuando se comunica con un nodo IPv4, utiliza IPv4.
 - Dispone de, al menos, una dirección IP para cada versión.
 - Configuración manual o DHCP para IPv4.
 - Configuración manual o autoconfiguración para IPv6.
 - Requiere un resolver DNS con capacidad para resolver los dos tipos de registros DNS:
 - Registro A para direcciones IPv4.
 - Registro AAAA o A6 para direcciones IPv6.
- Desventaja: es necesario mantener dos pilas de protocolos independientes.
 - Mantener todas las tablas (p.e. de enrutamiento) simultáneamente, configurar los protocolos de enrutamiento para ambos protocolos, ...
 - Requiere más memoria y CPU.
 - Dos nodos IPv6, pueden acabar comunicándose en IPv4 si en la ruta hay un enlace exclusivamente IPv4.



Tunneling

- Permite desarrollar una infraestructura de envío IPv6, sobre la base de IPv4.
- Se transporta tráfico IPv6 encapsulándolo en paquetes IPv4 y enviándolos a través de la estructura de enrutamiento IPv4 (túnel).
 - Los extremos del túnel utilizan pila dual.
- Tunneling automático: se determinan de forma automática los extremos del túnel.
 - 6to4: encapsula en IPv4 (RFC 3056).
 - Teredo: encapsula en datagramas UDP. Soporta NAT. Cliente linux: miredo.





Traducción

- NAT (Network Address Translation):
 - Se utiliza ampliamente para traducir direcciones IPv4 privadas a direcciones públicas.
 - En este caso, proporciona capacidad de enrutamiento entre una red IPv6 y una red IPv4.
 - NAPT (Network Address Port Translation): permite a un grupo de hosts IPv6 compartir una única dirección IPv4.
- Debe ser utilizado sólo si no es posible otro mecanismo de transición.
 - Desaprovecha algunas mejoras de IPv6.



IPv6: Resumen

- IPv6 es un nuevo protocolo que:
 - Opera sobre un espacio de direcciones ampliado y con mecanismos de autoconfiguración
 - Direcciones IPv6 con ámbito y tiempo de vida.
 - Simplifica el formato de la cabecera (de tamaño fijo)
 - Agiliza el enrutamiento:
 - No hay checksum
 - No hay fragmentación en los routers
 - Soporta mejor las extensiones y las opciones IP.
 - La seguridad forma parte intrínseca del núcleo del protocolo: cabeceras AH y ESP.
 - Tiene capacidad para el etiquetado de flujos de datos (QoS)
 - No es compatible con IPv4 → Se requieren mecanismos de convivencia hasta su implantación definitiva